

Mise en lumière

Les Jumeaux Numériques : un avenir majeur de la simulation en santé

Pr Jean-Claude Granry, Professeur Honoraire des Universités.

La simulation numérique en santé correspond à l'utilisation des technologies du numérique pour « reproduire des situations ou des environnements de soins, enseigner des procédures diagnostiques et thérapeutiques et permettre de répéter des processus, des situations cliniques ou des prises de décision par un ou des professionnels de santé » (adaptation de la définition HAS).

Les jumeaux numériques rentrent dans le cadre de cette simulation. On doit à la NASA, lors de l'accident dramatique d'Apollo XIII en 1970, « l'invention » du concept de jumeau numérique (digital twin). En effet, les conséquences et les solutions de cet événement (explosion d'un réservoir d'oxygène et accumulation de CO₂) ont été simulés au sol et transmis aux astronautes permettant leur sauvetage miraculeux. Le concept a été formalisé par Grieves en 2005 (1) et décrit comme une évolution du PLM (Product Lifecycle Management ou Gestion du cycle de vie des Produits).

Le Jumeau numérique est le double numérique d'une entité réelle : un processus, une machine, une structure, un environnement, un objet, une personne etc... Il s'est déjà imposé dans l'industrie et y est déjà considéré comme incontournable. L'exemple de l'industrie nucléaire est particulièrement édifiant. Il s'agit de remplacer à terme les simulateurs « pleine échelle » qui existent sur chaque site par la création et l'utilisation d'un réacteur numérique qui devrait permettre aux professionnels de la filière de s'entraîner indéfiniment aux gestes courants et surtout de s'adapter à l'évolution des pratiques (Figure 1 - infographie EDF).



Figure 1 : Jumeau numérique d'un réacteur nucléaire – Infographie EDF

Une ville entière peut être reconstituée sous forme de jumeau numérique dans le cadre des « cités connectées » (smart cities). C'est le cas de la cité-état de Singapour qui a entrepris ce projet depuis 2014 (Virtual Singapore – 3ds.com) et qui permet de simuler un nombre quasi sans-limites de situations : architecture des bâtiments, routes et rues, consommation d'eau et d'énergie, transports en commun, espaces verts... mais aussi conséquences d'accidents ou de catastrophes, mouvements de foule et bien d'autres choses encore. En France, plusieurs métropoles ont engagé cette réflexion (3DExperienCity – Dassault System). La prochaine étape sera sans doute de connecter les jumeaux numériques de ces villes.

L'application des jumeaux numériques en santé s'est développée de façon importante ces dernières années. Nous décrivons ici quelques exemples susceptibles d'avoir un impact majeur sur la qualité et la sécurité des soins : l'environnement et les organisations, les machines, la personne du patient.

Le jumeau numérique d'un système complexe comme un hôpital fait l'objet de nombreuses recherches (2). Le double digital d'un établissement de santé peut avoir plusieurs intérêts : simulation optimale d'implantation, simulation optimale d'équipement, simulation optimale des organisations... Les applications sont possibles au sein d'un service d'Urgence par exemple pour modéliser les flux de patients, les besoins en personnels et matériels en situation de crise etc... Cela nécessite d'accumuler les données du système d'Information en temps réel et de relier les différents éléments étudiés entre eux (surveillance à distance, télémaintenance prévention des pannes etc...).

Les constructeurs aéronautiques ont été les premiers à utiliser les JN pour optimiser la maintenance de leurs appareils et de leurs équipements (modélisation des avions Rafale – Dassault Systems). Ceci est encore assez peu développé en santé. Récemment, des JN des poumons humains ont été créés à partir de patients atteints de SARS Covid 19 (projet BreathEasy) permettant d'adapter de façon précise les constantes ventilatoires et de diminuer les besoins en oxygène. Chaque JN pulmonaire est spécifique à un patient et les réglages ventilatoires sont réalisés à partir de milliers de scénarios de simulation associant les images radiologiques et scannographiques, la mécanique ventilatoire et les examens biologiques (gaz du sang). Les ventilateurs (Vyaire Medical) s'adaptent également à la morphologie du patient, la structure et le volume pulmonaires. On peut ainsi penser que, au même titre que les machines dans l'industrie, les dispositifs médicaux seront contrôlés et surtout adaptés aux patients et à leur pathologie (appareils d'hémodialyse, CEC ...). Le projet Visible Patient (développé par l'IRCAD de Strasbourg) est capable de générer un modèle 3D d'un organe à partir de l'imagerie médicale et de proposer aux équipes chirurgicales une vision 3D spécifique du patient et de la zone opératoire.

Le jumeau numérique de l'être humain demeure un objectif pour de nombreux scientifiques et politiques... Ce projet a pour but louable de s'orienter vers une médecine personnalisée adaptant les diagnostics et les traitements à chaque patient et permettant d'améliorer ainsi la qualité et la sécurité des soins (3). Pour que le JN d'un être humain soit utile, il est nécessaire que toutes les données introduites dans le système informatique soient fiables. L'intelligence artificielle et les algorithmes qui gèrent le JN devraient permettre de s'adapter non seulement à un sujet mais aussi à toute une population et permettre d'envisager des programmes de recherche *in silico* (numérique) en réduisant de façon drastique la recherche *in vitro* et *in vivo* (homme et animal).

Plusieurs programmes spécifiques à des organes sont actuellement développés : SimCardioTest (simcardiotest.eu), regroupant six pays et financé par l'union Européenne est un jumeau du cœur du patient dont l'objectif est d'améliorer la prise en charge diagnostique et thérapeutique des cardiopathies ; Optimeyes (optimo-medical.com) est un jumeau numérique de la cornée du patient. L'intervention de la cataracte est d'abord étudiée et réalisée sur le jumeau puis ensuite sur le patient réduisant drastiquement les risques opératoires ; Predisurge (predisurge.com), jumeau numérique permettant la création « sur mesure » d'endoprothèses vasculaires ; Digital Orthopaedics (3dexperienlab.3ds.com) pour une prise en charge optimale en chirurgie orthopédique. Un jumeau numérique du cerveau épileptique pour l'aide à la décision chirurgicale est en cours d'étude (Projet EPINOV - Dassault Systems). L'intérêt des JN dans la prise en charge de certaines pathologies est maintenant démontré (4). La recherche de nouveaux médicaments et leur sécurité d'emploi représente un des aspects majeurs de l'utilisation des jumeaux numériques (figure 2). Un simulateur personnalisé permet également une meilleure sécurité d'emploi des médicaments au quotidien (exactcure.com).

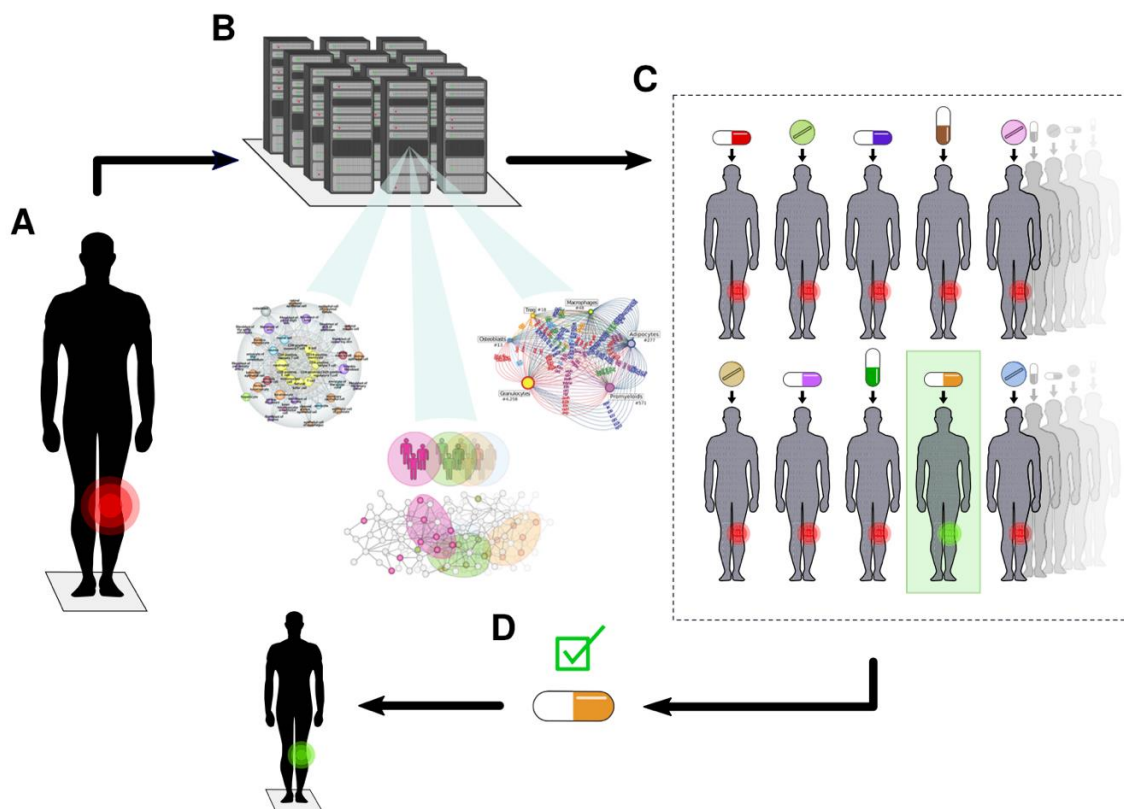


Fig. 1 The digital twin concept for personalized medicine. **a** An individual patient has a local sign of disease (red). **b** A digital twin of this patient is constructed in unlimited copies, based on computational network models of thousands of disease-relevant variables. **c** Each twin is computationally treated with one or more of the thousands of drugs. This results in digital cure of one patient (green). **d** The drug that has the best effect on the digital twin is selected for treatment of the patient

Figure 2 : Jumeau numérique et traitement personnalisé (reproduit de Björnsson et al. Digital twins to personalize medicine. Genome Medicine(3))

Les limites de cette technologie sont de plusieurs ordres. Elles sont d'abord « technologiques ». S'il est possible aujourd'hui d'accumuler de très nombreuses données (personnelles et de l'environnement), il importe ensuite de les stocker et de les analyser c'est-à-dire avoir les moyens en matériels très coûteux. Elles sont ensuite « humaines ». Ces méthodes nécessitent des compétences multiples (ingénierie numérique, machine learning, science des capteurs, médicales) et donc là encore des financements importants qui ne pourront sans doute bénéficier au plus grand nombre.

Enfin, la question éthique demeure fondamentale. Il s'agit d'abord de la sécurité des données. Faut-il envisager des banques de données « locales », nationales voire européennes ? Il est certain que plus il y aura de données, plus fiables seront sans doute les résultats. La question du financement est essentielle. Un très grand nombre de données personnelles (y compris médicales) sont exploitées par les GAFAM (Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft ...) et la plupart des recherches concernant les JN sont faites par des entreprises privées. Une collaboration sera obligatoire sauf si la majorité des données de santé est fournie (et commercialisée) par des établissements de santé privés. Le droit de savoir ou de ne pas savoir (pour le patient et son avenir médical) sera à discuter...

Au total, si même le jumeau numérique de notre planète est en cours d'étude (Projet Destination Earth – digital-strategy.ec.europa.eu), l'utilisation des jumeaux numériques en santé est déjà d'actualité. L'espoir d'améliorer ainsi la qualité et la sécurité des soins est certain. Mais les obstacles demeurent nombreux pour ce monde de la simulation numérique, en particulier financiers mais aussi éthiques.

Références

[1]. Grieves M. Product lifecycle management : The new paradigm for enterprises. Int. J. Product Development. 2005;2(1/2): 71-84.

<https://doi.org/10.1504/IJPD.2005.006669>

[2]. Croatti A, Gabellini M, Montagna S, Ricci A. On the Integration of Agents and Digital Twins in Healthcare. Journal of Medical Systems. 2020; 44:161

<https://doi.org/10.1007/s10916-020-01623-5>

[3]. Björnsson et al. Digital twins to personalize medicine. Genome Medicine. 2020; 12:4

<https://doi.org/10.1186/s13073-019-0701-3>

[4]. Voigt I, Inojosa H, Dillenseger A, Haase R, Akgün K and Ziemssen T. DigitalTwins for Multiple Sclerosis. Front.Immunol. 2021; 12: 669811.

<https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.669811>

Pour citer cet article : Granry JC. Les Jumeaux Numériques : un avenir majeur de la simulation en santé. Rev'Sims.2021;3 : 20-23. DOI : 10-48562-revsims3-2021-0007
